

学校编码: 10384  
学号: 22420071154183

分类号\_\_密级\_\_  
UDC\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

海洋细菌的群体感应初步研究

Preparatory Studies on Quorum Sensing of Marine Bacteria

黄妙琴

指导教师姓名: 柯才焕教授

专 业 名 称: 海洋生物学

论文提交日期: 2010 年 月

论文答辩时间: 2010 年 月

学位授予日期:

答辩委员会主席: \_\_

评阅人: \_\_

2010 年 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

# 目录

摘要 .....	I
Abstract .....	III
缩略语表 .....	V
第 1 章 绪论 .....	1
1.1 细菌生物膜及其在污损生物形成过程中的作用 .....	1
1.1.1 细菌生物膜 .....	1
1.1.2 污损生物的形成、发展及危害 .....	2
1.2 细菌的群体感应现象及研究现状 .....	3
1.2.1 革兰氏阴性菌的群体感应系统 .....	3
1.2.2 革兰氏阳性细菌的群体感应系统 .....	6
1.2.3 种间的群体感应系统 .....	8
1.2.4 群体感应系统的检测 .....	10
1.2.5 群体感应系统与细菌生物膜之间的关系 .....	12
1.3 群体感应系统的干扰 .....	13
1.3.1 干扰群体感应信号分子的生物合成 .....	13
1.3.2 群体感应系统的拮抗剂 .....	13
1.3.3 群感效应信号分子的酶失活和生物降解 .....	14
1.4 研究目的与意义 .....	17
第 2 章 海洋细菌的群体感应与生物膜关系研究 .....	18
2.1 材料与方法 .....	18
2.1.1 材料 .....	18
2.1.2 实验方法 .....	21
2.2 结果 .....	23
2.2.1 细菌分离及菌种鉴定 .....	23
2.2.2 细菌群体感应信号分子检测 .....	27
2.2.3 细菌生物膜形成能力检测 .....	27
2.2.4 群体感应信号分子与生物膜形成能力的相关性 .....	31

2.3 讨论.....	33
<b>第 3 章 理化因子对细菌群体感应信号分子的影响.....</b>	<b>36</b>
3.1 材料与方法 .....	36
3.1.1 材料.....	36
3.1.2 方法.....	37
3.2 结果.....	38
3.2.1 盐度对两株细菌生物膜形成能力及群体感应信号分子的影响.....	38
3.2.2 温度对两株细菌生物膜形成能力及群体感应信号分子的影响.....	39
3.2.3 pH 对两株细菌生物膜形成能力及群体感应信号分子的影响.....	39
3.3 讨论.....	43
<b>第 4 章 海洋微生物中群体感应抑制菌的筛选 .....</b>	<b>45</b>
4.1 材料与方法 .....	45
4.1.1 材料.....	45
4.1.2 实验方法.....	47
4.2 结果.....	49
4.2.1 QSI 活性筛选 .....	49
4.2.2 群体感应信号分子降解活性筛选.....	51
4.3 讨论.....	56
<b>第 5 章 细菌生物膜对总担草苔虫幼体附着变态的影响 .....</b>	<b>59</b>
5.1 材料与方法 .....	59
5.1.1 材料.....	59
5.1.2 实验方法.....	60
5.2 结果.....	61
5.2.1 生物膜对草苔虫幼体附着的影响.....	61
5.3 讨论.....	63
<b>小结与不足 .....</b>	<b>65</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>67</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>75</b>

# Content

<b>Abstract in Chinese .....</b>	<b>I</b>
<b>Abstract in English .....</b>	<b>III</b>
<b>Abbreviations .....</b>	<b>V</b>
<b>Chapter 1 Literature Review .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Biofilm and its role in biofouling .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Biofilm .....	1
1.1.2 The formation, development and harms of biofouling .....	2
<b>1.2 Reasearches of quorum sensing .....</b>	<b>3</b>
1.2.1 Quorum sensing system of Grem-negative bacteria .....	3
1.2.2 Quorum sensing system of Grem-positive bacteria .....	6
1.2.3 Quorum sensing system of inter-species.....	8
1.2.4 Detect of quorum sensing signals .....	10
1.2.5 The relativities between quoun-sensing singal molecules and biofilm forming capacity .....	12
<b>1.3 Inhibition of quroum sensing .....</b>	<b>13</b>
1.3.1 Inhibition the biosynthesis of AHL signal sensing .....	13
1.3.2 The antagonist of quorum sensing .....	13
1.3.3 Quorum quenching enzymes.....	14
<b>1.4 Main purpose of present study .....</b>	<b>17</b>
<b>Chapter 2 The co-relation between quorum sensing and biofilm forming .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Materials and methods .....</b>	<b>18</b>
2.1.1 Materials .....	18
2.1.2 Methods.....	21
<b>2.2 Results .....</b>	<b>23</b>
2.2.1 Isolation and identification of bacteria .....	23

2.2.2 Detect of quorum sensing signals .....	27
2.2.3 Detect the activity of biofilm forming .....	27
2.2.4 The co-relation between quorum sensing and biofilm forming.....	31
<b>2.3 Discussion.....</b>	<b>33</b>
<b>Chapter 3 Effecting of physical and chemical factors on quorum sensing signal .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1 Materials and methods .....</b>	<b>36</b>
3.1.1 Materials .....	36
3.1.2 Methods.....	37
<b>3.2 Results .....</b>	<b>38</b>
3.2.1 Effect of saltly on activity of biofilm forming and quorum sensing signals of the two strains.....	38
3.2.1 Effect of temperature on activity of biofilm forming and quorum sensing signals of the two strains.....	39
3.2.3 Effect of pH on activity of biofilm forming and quorum sensing signals of the two strains.....	39
<b>3.3 Discussion.....</b>	<b>43</b>
<b>Chapter 4 Screening of quorum sensing interfering bacteria.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1 Materials and methods .....</b>	<b>45</b>
4.1.1 Materials .....	45
4.1.2 Methods.....	47
<b>4.2 Results .....</b>	<b>49</b>
4.2.1 Screening of QSI activity.....	49
4.2.2 Screening of quorum quenching bacteria .....	51
<b>4.3 Discussion.....</b>	<b>56</b>
<b>Chapter 5 Effect of biofilm on the settlement of <i>Bugula neritina</i> larvae.....</b>	<b>59</b>
<b>5.1 Materials and methods .....</b>	<b>59</b>

5.1.1 Materials .....	59
5.1.2 Methods.....	60
<b>5.2 Results .....</b>	<b>61</b>
5.2.1 Effect of biofilm on the settlement of <i>Bugula neritina</i> larvae.....	61
<b>5.3 Discussion.....</b>	<b>63</b>
<b>Conclusions and insufficiency .....</b>	<b>65</b>
<b>References.....</b>	<b>67</b>
<b>Acknowledgments.....</b>	<b>75</b>



## 摘要

生物膜普遍存在于在水环境中的固体表面，它诱导或抑制着大型污损生物幼体的附着和变态，是生物污损形成的第一步。群体感应是基于细菌群体密度来调控特定基因表达的一种生理行为。已有的研究证实细菌的群体感应系统调控着生物膜的形成，破坏细菌的群体感应系统可以防止小型污损的形成。由于海洋无脊椎动物幼体偏向于选择在生物膜上附着，因此破坏细菌生物膜能够防治大型生物污损的形成。具有群体感应抑制活性菌株的筛选是未来研究生物防污的新方向。

本研究从近岸海水、生物膜及海洋生物中分离出数十株细菌，研究其群体感应信号分子构成及生物膜形成能力，检测不同的环境因素对其生物膜形成能力及群体感应信号分子的影响，筛选具有群体感应抑制活性的菌株，探索其抑制机制，并检测生物膜对总担草苔虫幼体的附着影响，主要结果如下：

1、检测分离到的 43 株海洋细菌的群体感应信号分子及生物膜形成能力，评估细菌群体感应信号分子与生物膜形成能力之间的关系。结果显示，AHL 活性菌株（10 株）中 90% 的菌株（9 株）有很强的生物膜形成能力，且这 10 株中的 7 株（70%）细菌所形成的生物膜存在明显的细胞团。具有 AI-2 活性的菌株中 67% 的菌株具有较强的生物膜形成能力。结果中具有 AHL 活性的菌株往往具有较强的生物膜形成能力，并常能形成较大的细胞团。许多不能产生群体感应信号分子的菌株也具有较强的生物膜形成能力。

2、检测盐度、温度及 pH 对两株海洋细菌的 AHL 活性和 AI-2 活性的影响。结果显示，两株菌的 AI-2 活性随着盐度和温度的增加而增加，在不同的 pH 条件下，两株细菌在 AI-2 活性检测中展现出不同的规律，菌株 OYO4 的 AI-2 活性随着 pH 的增加而增加，在 7.5 时达到最大值，在 8.0 时也维持在一个比较高的水平，但随后在 pH 为 8.5 时急剧下降（ $P < 0.05$ ）。菌株 AE4 的 AI-2 活性随着 pH 的增加而逐渐下降。盐度、温度及 pH 不影响细菌 OYO4 产生 AHL 信号分子。

3、采用群体感应抑制物筛选系统（QSYS），对分离到的 66 株海洋细菌的群体感应抑制物（QSI）活性进行筛选。结果显示，9 株菌具有 QSI 活性，占总供测菌株的 13.6%，分别为杆菌属（*Bacillus*，8 株）和赤杆菌属（*Erythrobacte*，1 株）细菌。选择具有 QSI 活性的菌株进一步测定其细菌悬液对群体感应信号分子 BHL

和 OHHL 的降解作用，发现赤杆菌属 (*Erythrobacte*) 细菌 SP2-2 的 QSI 活性很强，能在短时间内降解这两种信号分子 (2 h 降解 100  $\mu\text{mol/L}$  的 BHL 到无法检测水平，5 h 能完全降解 100  $\text{nmol/L}$  的 OHHL)。同时，该菌株也能干扰紫色杆菌 CV026 紫色素的产生，并能够降解菌株 *Pseudomonas aeruginosa* PAO1 所产生的信号分子。实验结果表明，海洋细菌是潜在的 QSI 活性物资源，实验首次发现一株能降解 AHL 的赤杆菌属细菌，这一结果丰富了群体感应信号分子降解菌的来源，并为进一步探究其作用机理提供了基础。

4、所检测的 10 株生物膜形成能力强的菌株中在有 6 株菌的 7 d 培养的生物膜在 2h 内能够诱导总担草苔虫幼体附着，本研究进一步证实了生物膜对大型污损生物幼体附着的诱导作用。不过，值得关注的是，本研究中杆菌属细菌 PE3 却能够抑制草苔幼体附着，该菌株在海洋防污领域具有一定的应用潜力。

**关键词：**群体感应；生物膜；群体感应抑制；防污

## Abstract

In aquatic environments, all natural (macroalgae, stones, etc.) and artificial substrates are covered with biofilms consisting predominantly of bacteria and diatoms. Natural biofilms often promote or inhibit attachment of invertebrate larvae, which is the first stages of biofouling. Formation of a microbial biofilm is a complex multistep process. Quorum sensing (QS), a form of bacterial population density-dependent cell-cell communication and gene regulation, has been shown to contribute to the formation and maturation of biofilms, so disruption of QS may prevent microbial biofouling. Since larvae of many marine invertebrates preferentially settle on bacterial biofilms, disruption of bacterial biofilms can lead to the reduction of macrofouling of submerged surfaces. Searching QS inhibitors by marine-derived compounds are important direction in the future. In this study, we isolated several strains from coastal water, biofilm and marine organisms, detecting the activity of QS signals and biofilm formation in the 43 bacterial strains, effecting of biofilms on the settlement of *Bugula neritina* larvae, screening for QSI activity strains, studying its inhibition mechanism. There are four main results in this thesis:

1. In this study, the co-relation between quorum sensing and biofilm forming of 43 marine bacterial strains were evaluated by quantitatively detecting the activity of acyl-homoserine lactones (AHL) and AI-2 signals, as well as the biofilm formation in the 43 bacterial strains. The results revealed that 9 of the 10 (90%) AHL activity strains displayed definite biofilm-forming capacity, 7 of these 10 strains exhibited highly structured architecture in biofilm. 67% of AI-2 activity strains have strong biofilm-forming capacity. The results also indicated that the strains with AHL activity usually presented strong biofilm-forming capacity. However, other bacteria which cannot produce quorum sensing signal still exhibit strong biofilm-forming capacity. Therefore, it could be indicated that for environmental bacteria, the existing of quorum sensing signal molecule (especially the AHL) in bacterial strains, usually tends to be a sufficient condition other than a necessary one for forming biofilms.
2. We tested the effecting of salinity, temperature and pH on activity of quorum sensing signals of the two test bacterial strains. The results showed that the activity of AI-2 signal of two tested strains increased with the salinity and temperature, In different pH, the activity of AI-2 signal of two test strains showed different rules, the

activity of AI-2 signal of strain OYO4 increased with the pH, it maintained at a high level at 7.5~8.0, and then sudden dropped at 8.5. The activity of AI-2 signal of strain AE4 decreased with the increase of the pH. Salinity, temperature and pH did no affect the produce of AHL of strain OYO4.

3. In the present study, quorum sensing inhibitors system (QSI) was use to screen for QSI activity of marine bacteria. 9 of the 70 strains (12.9%) were tested positive in the QSI screen, where 8 of 9 strains belong to *Bacillus* and one belong to *Erythrobacte*. Coculture of 9 QSI activity strains with BHL and OHHL autoinducers, it was found that strain *Erythrobacte* SP2-2 has BHL and OHHL degradation ability, BHL (100  $\mu\text{mol/L}$ ) was degraded completely after 5 h by strain SP2-2 and OHHL(100 nmol/L) was 2 h. Strain SP2-2 could quenching violacein production in *Chromobacterium violaceum* CV026, and interference the QS signals of *Pseudomonas aeruginosa* PAO1. The results suggested that marine bacteria could be a promising source for QSI. To the best of our knowledge, this is the first report on AHL-degradation of *Erythrobacte* strains. The finding enrich the source of QS quenching strains. Our work is the foundation of further explore of QSI mechanisms.

4. Effecting of 10 strains having strong biofilm formation capacity on the settlement of *Bugula neritina* larvae were tested. The result showed that, for 7 day biofilms, 6 of 10 strains promoted the settlement of larvae, strain PE3 inhibited the attachment of *Bugula neritina* larvae, and it suggested the potential applications in antifouling.

**Key words:** Quorum sensing; biofilm; Quorum sensing inhibition; Antifouling

## 缩略语表

缩写词	英文	中文
ACP	Acyl-acyl carrier protein	酰基-酰基载体蛋白
AHL	Acyl-homoserine lactones	乙酰高丝氨酸内酯
AI	Autoinducer	自诱导物
AiiA	AI inactivation protein	自诱导物失活蛋白
AIP	Autoinducing peptide	自诱导寡肽
BHL	N-Butyryl-DL-homoserine lactone	4, 5-丁酰-DL-高丝氨酸内酯
DPD	4,5-dihydroxy-2,3-pentanedione	4, 5-二羟基-2, 3-乙酰基丙酮
G-	Gram negative	革兰氏阴性
G+	Gram positive	革兰氏阳性
IPTG	Isopropyl $\beta$ -D-1-Thiogalactopyranoside	异丙基- $\beta$ -D-硫代半乳糖苷
LB	Luria-Bertani medium	LB 培养基
OD	Optical density	光密度
OHHL	N-( $\beta$ -Ketocaproyl)-DL-homoserine lactone	N-( $\beta$ -乙酰基酮)-DL-高丝氨酸内酯
QS	Quorum sensing	群体感应
QSI	Quorum sensing inhibitor	群体感应抑制物
QSI	Quorum sensing inhibitor selection	群体感应抑制物筛选系统
SAH	S-adenosylhomocysteine	S-腺苷高半胱氨酸
SAM	S-adenosylmethionine	S-腺苷甲硫氨酸
SRH	S-ribosylhomocysteine	S-核糖高半胱氨酸
X-Gal	5-bromo-4-chloro-3-indolyl $\beta$ -D-galactopyranoside	5-溴-4-氯-3-吲哚- $\beta$ -D-半乳糖苷

## 第 1 章 绪论

### 1.1 细菌生物膜及其在污损生物形成过程中的作用

#### 1.1.1 细菌生物膜

传统意义上的生物膜 (biofilm), 指的是处于界面上的微生物集合体。它们往往被自己所分泌的胞外物质所包被, 天然生物膜常常有细菌、古细菌、真菌、单细胞藻类、原生动物或动植物孢子等微生物存在。定义中的界面可以是固-液, 固-气, 液-液或液-气界面, 本文主要考察固液界面上所形成的生物膜, 即浸没在水中的固体表面被细菌所黏附并生长繁殖, 这些微生物及它们分泌的胞外产物形成的某种膜状结构。一般认为生物膜的形成有以下步骤: ①浸入在水中的固体表面吸附水中的有机物质, 形成条件化膜 (conditioning film), 这一过程在几秒到几分钟内就可完成; ②微生物粘附到该表面上, 这可能需要几分钟到几小时; ③粘附到表面的微生物开始繁殖, 形成小的细菌团簇 (cluster); ④微生物继续繁殖, 细胞团不断增大, 生物膜不断增厚, 最终形成成熟的生物膜。过程③和④需要几个小时到几天<sup>[1]</sup>, 甚至更长的时间。如果从广义的生物膜概念来看, 一些生物膜并不需要经历过程③和④, 仅仅微生物的粘附(但须达到具有生物学意义的密度)就可以称为生物膜。

生物膜体积的 90%由聚合物基质或水管道构成。生物膜具有结构导质性, 它由类似蘑菇状或堆状的微菌落组成, 在这些菌落之间围绕着输水通道, 管道可用于生物膜内部的细菌交换物质, 可以运送养料、酶、代谢产物和排出废物等<sup>[1]</sup>。近年来的科学研究使人们认识到生物膜形成除与营养、水动力等外界环境因素有关外, 与细菌本身也有重要关系, 细菌的鞭毛、纤毛、胞外聚合物、群体感应信号分子等细胞因子与生物膜的形成有关。很多研究表明, 革兰氏阴性菌产生的群感效应信号分子能够促进其形成生物膜<sup>[2-4]</sup>。

细菌生物膜广泛存在于所有适合生命存在的地方。在自然水环境的固体表面、临床医学、工业环境中都观察到生物膜的存在<sup>[5]</sup>。在污水处理净化中, 生物膜的作用至关重要<sup>[6, 7]</sup>, 而在医学上的一些致病菌所形成的生物膜往往是一些慢

性和顽固性疾病难以根治的主要原因<sup>[8]</sup>。在海洋环境中,细菌生物膜是污损生物的重要组成部分,并且能诱导海洋污损动植物的附着变态,与生物污损的形成关系密切<sup>[9, 10]</sup>。

### 1.1.2 污损生物的形成、发展及危害

海洋污损生物(marine fouling organism)是指生长在船底和海中一切设施表面的动物、植物和微生物。它们通过增加船舶阻力、堵塞管道和网具、加速金属腐蚀、增加海上设施重量等,造成军事活动、海洋运输、工业和水产养殖生产巨大的损失<sup>[9-11]</sup>。在海洋环境中,生物污损(biofouling)是一个非常复杂的过程,当一个物体浸入海水后,细菌首先附着到物体表面上并生长、繁殖,并同随后附着的硅藻、真菌、原生动物及有机碎屑和无机颗粒等形成一层生物膜,这个演替过程被称为微型污损(microfouling)。其后,大型藻类的孢子及大型无脊椎动物的幼体附着到物体表面上,该过程称为大型污损(macrofouling)<sup>[12]</sup>。

传统的防污理论认为防污的对象主要是大型污损生物,而忽略了生物粘膜在污损生物中的地位 and 危害,实际上微型污损生物,即生物粘膜存在时,其对人类设施和船只的危害也十分严重。Schultz 等<sup>[13]</sup>研究了生物粘膜对船体表面摩擦力的影响,结果表明生物粘膜的存在能够极大地增加船体表面摩擦力。另外,生物粘膜还会加速金属的腐蚀,这主要是因为生物粘膜胞外产物中含有许多酶、有机或无机酸、挥发性化合物如氨水和硫化氢等<sup>[14]</sup>。已有报道生物粘膜对海绵动物<sup>[15]</sup>、刺胞动物<sup>[16]</sup>、棘皮动物<sup>[17]</sup>、苔藓虫类<sup>[18]</sup>、多毛类<sup>[19]</sup>、藤壶<sup>[20]</sup>、牡蛎<sup>[21]</sup>及海鞘<sup>[22]</sup>等多种大型污损动物浮游幼体的附着产生显著影响,其作用既有抑制也有促进。而从抑制大型污损动物粘附的细菌中提取具有防污活性的物质则是一个极具潜力的课题。交替假单胞杆菌属的 *Pseudoalteromonas tunicata* 能够保护其宿主海鞘或石莼免于遭受其他污损生物的入侵<sup>[23]</sup>,该菌产生的防污活性与其色素的表达极其相关<sup>[24]</sup>,而且至少有两种色素(黄色和紫色)与该菌防污能力有关<sup>[25]</sup>。

由于海洋生物膜在生物污损过程中所处的重要作用,从破坏生物膜入手研究防污越来越受到重视,另外如果能够筛选到具有抑制污损生物幼体的菌株,直接抑制污损生物的附着变态则是更直接的方法。

## 1.2 细菌的群体感应现象及研究现状

1970 年 Nealson 等<sup>[26]</sup>首次报道了海洋共生细菌费氏弧菌 (*Vibrio fischeri*) 的细菌密度与生物发光的关系, 该细菌在海水中的密度较低, 没有发光功能; 当它与乌贼的器官共生, 细菌密度达到 1000 倍以上, 该细菌能发光。进一步研究发现, 该细菌的发光现象是受细菌本身的群体感应系统 (Quorum sensing system) 所调控。群体感应 (Quorum sensing) 是细菌根据自身密度变化进行基因表达调控的一种生理行为。细菌产生并释放称为自诱导物 (Autoinducer, AI) 的信号分子, 其浓度随着细菌密度的增加而增加, 当积累到一定阈值时可与体内的调控蛋白结合从而启动细菌中特定基因的表达。在革兰氏阴性细菌和革兰氏阳性细菌中都存在着信息交流<sup>[27]</sup>。已有的研究表明, 革兰氏阴性 (G<sup>-</sup>) 细菌产生的信号分子为乙酰高丝氨酸内酯 (Acyl-homoserine lactones, AHL), 革兰氏阳性细菌则以寡肽类 (Autoinducing peptide, AIP) 为信号分子, 这两种信号分子具有种内特异性。除此外, 许多革兰氏阴性和阳性细菌都可以产生一类呋喃酰硼酸二酯 (Furanosyl baorate diester, AI-2) 的信号分子, 与前面两种信号分子不同, 一般认为 AI-2 是自然状态下细菌种间细胞交流的通用信号分子。

群体感应使单细胞的细菌能模仿多细胞生物体, 进行一些它们作为单细胞个体所做不到的行为。研究表明, 细菌分泌信号分子来协调种群的活动, 这些信号分子的种类是多种多样的, 而且同一种细菌可以利用多种信号分子进行“交流”。大部分细菌有两套群体感应系统, 一套用于种内信息交流, 一套用于种间信息交流<sup>[28-33]</sup>。

### 1.2.1 革兰氏阴性菌的群体感应系统

革兰氏阴性细菌是以 AHL 为信号分子的 LuxI-LuxR 型群体感应系统。该系统有两个调节蛋白调控着, 一个 LuxI 型的信号分子合成酶、一个 LuxR 型的信号分子受体和目的基因。如图 1.1 所示, LuxI 型蛋白合成 AHL 信号分子, 该信号分子能够自由地扩散到细胞膜外, 并能累积到高浓度。当信号分子浓度达到阈值时, LuxR 型蛋白能绑定信号分子形成复合物, 与特异的靶基因启动子结合, 从而激活目的基因的转录。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库